

III-168 仕事量に着眼した2方向せん断载荷時の砂の変形特性

東京電力（株）（正）○加藤定良
東北大学工学部（正）菅野高弘
東北大学工学部（正）柳沢栄司
東北大学大学院（学）田地陽一

1. まえがき

実地盤内の応力・ひずみ関係を解明することは土質力学の分野において極めて重要かつ興味深いことであるが、実際の複雑な地盤内応力状態のもとでの研究はまだ未解明の問題として残されている。本研究では、地盤内土要素を想定した実験的研究から、仕事量に着眼し砂の変形特性に関する考察を行なう。

2. 実験方法及び記号の定義

二方向せん断試験装置の立方供試体は一辺が10cmで、実験で用いた豊浦標準砂（最大間隙比 $e_{\max}=0.989$ 、最小間隙比 $e_{\min}=0.593$ 、比重 $G_s=2.64$ ）は空中落下法により $D_r=40\pm1\%$ で供試体作成を行なっている。

地盤内の土要素に近い応力状態とは、体積ひずみの許される方向が鉛直方向で横方向は拘束された状態である。供試体の载荷方向はV方向载荷（ τ_v ）を図1に示し、H方向载荷（ τ_h ）を図2に示すとし、HV方向载荷（ τ ）は等価せん断応力として、

$$\tau = (\tau_h^2 + \tau_v^2)^{1/2}$$

と定義する。さらに、ひずみに対しても同様に

$$\gamma = (\gamma_h^2 + \gamma_v^2)^{1/2}$$

のように定義する。また累加せん断ひずみ G の定義はひずみ増分の累計として以下のである。

$$G = \sum |d\gamma|$$

また、せん断仕事は各成分の足し合わせで、

$$dW_s = \sigma_v d\varepsilon_v^s + \tau_h d\gamma_h + \tau_v d\gamma_v$$

であり、ここで体積ひずみは別途三軸試験から求めた等方成分による体積ひずみ $d\varepsilon_v^s$ を引いたせん断による体積ひずみ ε_v^s である。

3. 実験結果及び考察

図3(a)に示したのは本試験の応力経路であり、拘束圧を4本変化させて実験を行なっている。同図(b)に示したのはせん断応力面で示したもので各3方法それぞれH、HV、V方向にせん断载荷したもので、合計12本の単調载荷試験結果を示すものとする。

図4に示したのがH方向の結果で横軸を応力比で整理した仕事量である。ここでせん断仕事は p で正規化してある。これを見るとせん断仕事は、初期拘束圧によらずユニークに表現されることがわかる。この傾向はHV方向、V方向においても同様である。

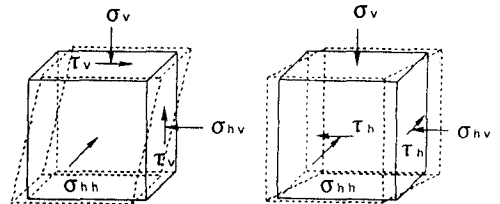


図1 V-loading

図2 H-loading

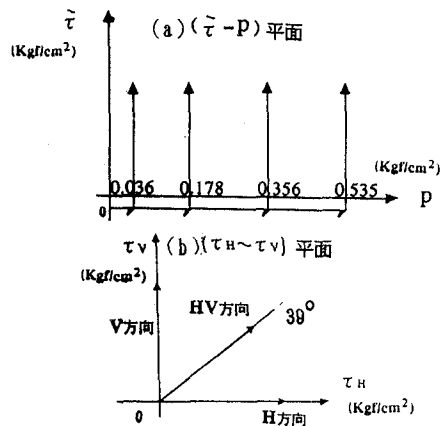


図3 単調せん断载荷試験の応力経路

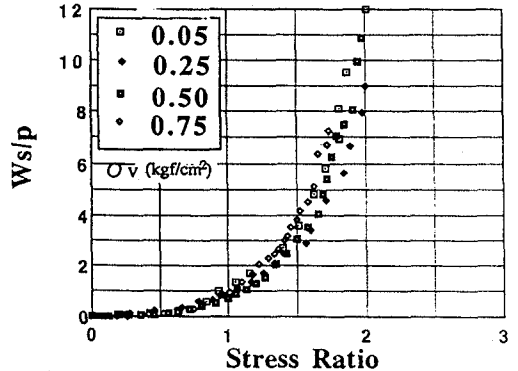


図4 H方向の応力比～正規化したせん断仕事関係

各方向まとめて表現したものが図5に示すもので応力経路依存性が確認される。つまり、H方向载荷はV方向におけるよりもその同レベルに到達するのに大きな仕事を必要であることが判断される。この結果を三軸試験によって得た諸戸の状態量 S_s とと比較してみることにする。 S_s は弾性成分を引いた塑性成分のみを考えた塑性仕事を平均応力 p で正規化した量であり、本試験におけるせん断仕事 W_s は弾性成分を引いた量になっていないものの弾性成分は非常に小さいことが繰り返し試験により既に確かめられているため、実質上 S_s とは大差はないものと思われる。本試験結果が、応力経路依存性にかかわらず状態量 S_s は応力比の関数として一義的に表現できるとした諸戸の結論と異なるのは、応力状態の違いのためと考えられる。つまり、本研究のせん断応力 τ_p の存在がある複雑な応力状態では、 S_s を修正して用いる必要があると思われる。

次にせん断仕事をせん断ひずみ γ で考えてみることにする。図6に示したのがH方向の $W_s/p \sim \gamma$ 関係である。これによると、1次の比例関係が認められ、初期拘束圧によらないことがわかる。HV方向、V方向についてもこの傾向は同様で载荷方向の違いにより経路依存性が確認される(図7)。これは実際Cam-Clay Modelの式と次元的に整合性があるものである。そこで本試験ではCam-Clay Modelの式を修正して

$$dW = p M_d d\gamma \quad M_d = M_d(\text{Angle})$$

Angleとは载荷方向(H方向で 0° 、V方向で 90°)を示す。本試験ではCam-Clay Modelの式をこのようにして適用可能となる。

H方向、HV方向、V方向3本のひずみ制御繰り返し実験における仕事を累加せん断ひずみで整理したのが図8である。仕事量 W_s/p に減少が認められるのは载荷反転時直後に p の増加にかかわらずそれに対応してせん断ひずみの発生が少ないためであるが、この図によれば、単調载荷試験における傾向と同様に応力経路により仕事量に有意差が認められる。

4. 結論

- (1) 正規化したせん断仕事は応力比またはせん断ひずみの関数として表現可能であり、そのどちらでとっても応力経路依存性が確認される。
- (2) 繰り返し排水せん断载荷試験における仕事量を累加せん断仕事によって整理したところ、単調载荷排水試験における結果と同様の傾向が得られた。

5. 参考文献 1.N.Muroto : A New Parameter To Measure Degree Of Shear Deformation Of Granular Material In Triaxial Compression Tests, Soils And Foundation, Vol. 16, No. 4 pp.63~70, Dec. 1976

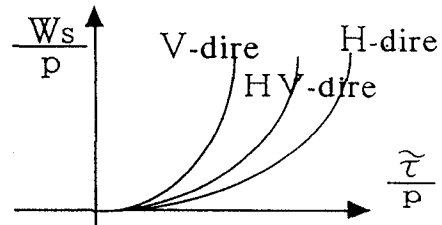


図5 応力比～正規化したせん断仕事関係の概念図

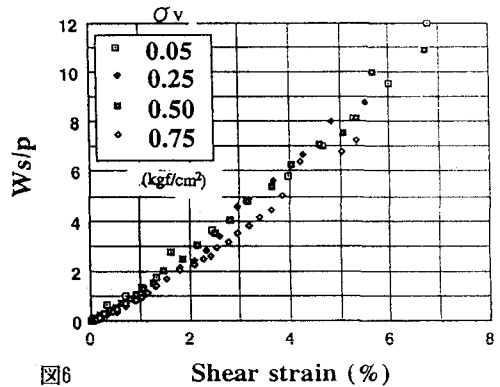


図6 H方向の正規化したせん断仕事～せん断ひずみ関係

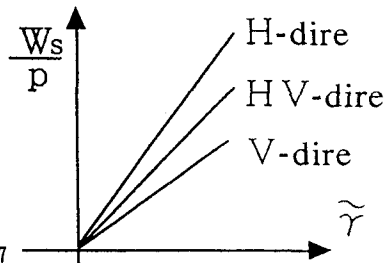


図7 正規化したせん断仕事～せん断ひずみ関係の概念図

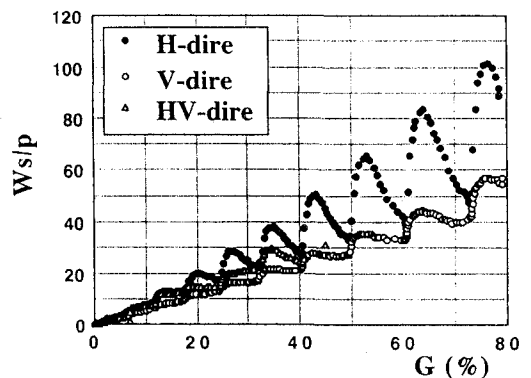


図8 正規化したせん断仕事～累加せん断ひずみ関係